

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладного матеріалознавства і ТКМ

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Оксана ГАПОНОВА

«___» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності _____ 132 Матеріалознавство _____

освітньо-професійної програми _____ «Прикладне матеріалознавство»

на тему: «Дослідження проблеми зниження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу з добавкою вторинного політетрафторетилену».

Здобувача групи _____ МТ.м-21/2 _____ Сапегіна Дениса Сергійовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Денис САПЕГІН

Керівник _____
доцент кафедри ПМ і ТКМ,
к.т.н., доц. Христина Берладір _____

Нормоконтроль _____
доцент кафедри ПМ і ТКМ
к.т.н., доц. Андрій ДЕГУЛА _____

Суми – 2023

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О.П. Гапонова
«__» _____ 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Сапегін Денис Сергійович

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження проблеми зниження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу з добавкою вторинного політетрафторетилену», затверджена наказом по університету від від “09” листопада 2023 р. № 1254-VI.
2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) 15.12.2023 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) склад полімерного композитного матеріалу з добавкою вторинного політетрафторетилену, його фізичні та механічні властивості
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити) В пояснювальній записці належить опрацювати наступні питання:
 - літературний огляд, аналіз проблеми на сьогоднішній день;
 - розробити методику проведення експерименту, вибір матеріалів та обладнання;
 - провести експериментальні дослідження: виготовлення зразків, визначення щільності, міцності при розриві зразків, мікроструктурний аналіз;
 - в економічній частині розкрити питання теоретичних відомостей та методики розрахунку витрат, провести розрахунки;
 - в п'ятому розділі розкрити питання охорони праці, охорони довкілля та техніки безпеки;
 - зробити загальні висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Результати роботи та літературний огляд слід доповнювати рисунками і таблицями. Обов'язковими є таблиці з фізико-механічними властивостями матеріалів, макро- і мікроструктури, зображення основного і допоміжного обладнання, яке використовували під час проведення експериментів

6. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Говорун Т.П.	10.11.2023 р.	
Економічна частина	Берладір Х.В.	16.11.2023 р.	

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел та вибір основних напрямів дослідження	10.11.2023 р.	виконано
2	Загальна методика та основні методи дослідження	20.11.2023 р.	виконано
3	Експериментальні дослідження та загальні результати	10.12.2023 р.	виконано
4	Економічна частина	15.12.2023 р.	виконано
5	Охорона праці, довкілля, та техніка безпеки	15.12.2023 р.	виконано

7. Дата видачі завдання 09.11.2023 р.

Студент Д.С. Сапегін

(підпис)

Керівник проекту Х.В. Берладір

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Сапєгін Денис Сергійович. Дослідження проблеми зниження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу з добавкою вторинного політетрафторетилену.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістр за спеціальністю 132 – Прикладне матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2023р.

Кваліфікаційна робота присвячена проблемі зниження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу з добавкою вторинного політетрафторетилену.

На основі проведених експериментів виявленні причини зниження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу з добавкою вторинного політетрафторетилену.

Проведено випробування зразків, визначені фізико-механічні та триботехнічні властивості полімерного композитного матеріалу, наведені висновки та розроблені рекомендації щодо застосування у виробництві полімерного композитного матеріалу з добавкою вторинного політетрафторетилену.

Ключові слова: ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТИЙ МАТЕРІАЛ, ВТОРИННИЙ ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕН, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ABSTRACT

Sapiehin Denys. Study of the problem of reducing the physico- mechanical and tribotechnical properties of a polymer composite material with the addition of secondary polytetrafluoroethylene.– The manuscript.

Qualifying paper for obtaining the qualification of master's degree in the specialty 132 – Materials Science. – Sumy State University, Sumy, 2023.

The work is dedicated to the problem of reducing the physical-mechanical and tribotechnical properties of polymer composite material with the addition of secondary polytetrafluoroethelene.

Based on the experiments, the reasons for the decrease in the physical-mechanical and tribotechnical properties of the polymer composite material with the addition of secondary polytetrafluoroethelene were identified.

Testing of the components, physical-mechanical and tribotechnical power of the polymer composite material was carried out, recommendations were made and recommendations were made for the curing of the polymer composite material in production. with the addition of secondary polytetrafluoroethylene.

Key words: POLYMER COMPOSITE MATERIAL, SECONDARY POLYTETRAFLUORETHYLENE, WEAR RESISTANCE.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра включає в себе 63 сторінку, у тому числі: 11 таблиць, 13 рисунків, бібліографії із 23 літературних джерел.

Мета роботи – метою роботи є аналіз структури полімерного композитного матеріалу з добавкою вторинного політетрафторетилену та дослідження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу в залежності від дисперсності добавки вторинного політетрафторетилену.

Завдання дослідження. Для досягнення основної мети роботи були поставлені та вирішені такі завдання:

- 1) дослідити - фізико-механічні та триботехнічні властивості зразків полімерного композитного матеріалу, структуру матеріалу.
- 2) встановити причину зниження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу;
- 3) розробити рекомендації для виробництва з метою зменшення браку та поліпшення якості продукції, що випускається.

Об'єкт дослідження – зразки полімерного композитного матеріалу антифрикційного призначення з матрицею ПТФЕ.

Предмет дослідження – фізико-хімічні та технологічні аспекти формування складу, структури та властивостей композитного матеріалу.

Методи досліджень. Експериментальні дані одержані з використанням стандартних методів визначення фізико-механічних і триботехнічних властивостей, оптичної мікроскопії та мікроструктурного аналізу.

Наукова новизна: розроблені технологічні рекомендації для вхідного контролю якості при використанні на виробництві ПКМ з матрицею ПТФЕ; досліджено і виявлено взаємозв'язок структури, фізико-хімічних і фізико-механічних показників ПТФЕ-композита з розмірами одного з компонентів (вторинного ПТФЕ).

Ключові слова: ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТИЙ МАТЕРІАЛ, ВТОРИННИЙ ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕН, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ПКМ – полімерні композиційні матеріали;

ТПКМ – термопластичні композиційні матеріали;

ТрКМ – терморективні композиційні матеріали;

HV – твердість за Віккерсом;

τ , год – час;

H_μ, ГПа – мікротвердість;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування.

σ_b , МПа – поріг міцності;

σ_t , МПа – поріг текучості;

ψ , % – відносне подовження;

δ , % – відносне звуження.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	4
Реферат.....	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1	13
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	13
1.1 Використання полімерів та утилізація полімерних відходів	13
1.2 Класифікація термопластичних матеріалів та їх основні технологічні властивості	17
1.2.1. Класифікація термопластичних матеріалів.....	17
1.3 Використання вторинних фторопластів.....	22
1.4 Методи подрібнення відходів фторопластів.....	23
Висновки до розділу 1.....	28
РОЗДІЛ 2	29
МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ.....	29
2.1 Властивості об'єктів дослідження	29
2.1.1 Фізико-хімічні властивості матриці ПКМ – фторопласт-4.....	29
2.1.2 Фізико-хімічні властивості наповнювача — коксу.....	31
2.1.3 Властивості фторопластів Ф4К20.....	32
2.2 Випробування на розтягування.....	33
2.3 Визначення густини зразків.....	33
2.4 Випробування на тертя.....	34
2.5 Метод мікроскопічного аналізу.....	35
Висновки до розділу 2	35
РОЗДІЛ 3.....	36
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	36

	9
3.1 Постановка завдання дослідження	36
3.2 Проведення випробування на розтягування	38
3.3 Визначення густини зразків.....	39
3.4 Проведення випробування на знос.....	40
3.5 Проведення мікроскопічного аналізу.....	41
3.6 Рекомендації щодо підвищення властивостей.....	43
Висновки до розділу 3	43
РОЗДІЛ 4.....	46
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	46
4.1 Загальні теоретичні відомості	46
4.2 Методика розрахунку витрат	48
Висновки до розділу 4	51
РОЗДІЛ 5.....	52
ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	
5.1 Техніка безпеки при роботі з полістиролом.....	52
5.2 Заходи проти отруєння	53
5.3 Правила зберігання отруйних речовин	54
5.4 Протипожежні заходи.....	54
5.5 Заходи з охорони довкілля.....	56
Висновки до розділу 5	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61

ВСТУП

Прогрес у галузі енергетичного машинобудування призводить до ускладнення умов роботи вузлів тертя та вимагає застосування антифрикційних матеріалів з високою міцністю та зносостійкістю.

Вузли тертя насосів, торцеві ущільнення та підшипники визначають їхню працездатність, а підвищення довговічності є актуальним завданням насособудування.

Перспективними матеріалами для застосування у вузлах тертя енергетичних машин є композити на основі ПТФЕ та різних наповнювачів.

Особливістю отримання виробів з композиційних матеріалів на основі ПТФЕ є необхідність в остаточній механічній обробці заготовок, при цьому втрата відходів у вигляді стружки і неліквідів становить до 50% маси вихідної заготовки. Це призводить до значних матеріальних втрат і появи екологічної проблеми, пов'язаної з наявністю великої кількості відходів, що не утилізуються, і необхідністю їх утилізації або вторинної переробки.

Оскільки потреба у полімерних композитах постійно зростає, регенерація та використання вторинних фторполімерних відходів є актуальною та важливою з господарської, екологічної та економічної точки зору.

З іншого боку, використання вторинних матеріалів повинно мати наукове обґрунтування і не призводити до погіршення фізико-механічних властивостей деталей.

Підставою для наших досліджень стало замовлення підприємства на визначення причини виходу з ладу поршневого компресора з причини руйнування кільця поршня, виготовленого з ПКМ з матрицею ПТФЕ, в ході досліджень було виявлено наявність добавки вторинного політетрафторетилену.

Актуальність теми. Обґрунтований науковий підхід у використанні вторинних композитних полімерних відходів є актуальним і важливим завданням з господарської, екологічної та економічної точки зору в умовах зростаючої потреби в ПКМ.

Мета роботи – метою роботи є аналіз структури полімерного композитного матеріалу з добавкою вторинного політетрафторетилену та дослідження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу в залежності від дисперсності добавки вторинного політетрафторетилену.

Завдання дослідження. Для досягнення основної мети роботи були поставлені та вирішені такі завдання:

- 1) дослідити - фізико-механічні та триботехнічні властивості зразків полімерного композитного матеріалу, структуру матеріалу.
- 2) встановити причину зниження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу;
- 3) розробити рекомендації для виробництва з метою зменшення браку та поліпшення якості продукції, що випускається.

Об'єкт дослідження – полімерний композитний матеріал антифрикційного призначення з матрицею ПТФЕ.

Предмет дослідження – фізико-хімічні та технологічні аспекти формування складу, структури та властивостей композитного матеріалу.

Методи досліджень. Експериментальні дані одержані з використанням стандартних методів визначення фізико-механічних і триботехнічних властивостей, оптичної мікроскопії та мікроструктурного аналізу.

Обладнання: ваги ВЛА-200, розривна машина Р-0,5, випробувальна установка СМТ-1, біологічний мікроскоп МБУ-4, цифровий окуляр мікроскопа з фотокамерою фірми SONY Cyber-shot 6.0 mega pixels.

Наукова новизна:

- 1) розроблені технологічні рекомендації для вхідного контролю якості при використанні на виробництві ПКМ з матрицею ПТФЕ.

2) досліджено і виявлено взаємозв'язок структури, фізико-хімічних і фізико-механічних показників ПТФЕ-композита з розмірами одного з компонентів (вторинного ПТФЕ).

Практичне значення отриманих результатів. Використання технологічних рекомендацій у виробництві для вхідного контролю ПКМ із матрицею ПТФЕ з метою запобігання браку та поломки обладнання.

Особистий внесок. Автору належить аналіз літературних даних, визначення мети та постановки завдання дослідження, виготовлення зразків, проведення випробувань та оформлення роботи.

Дипломна робота магістра включає в себе 63 сторінку, у тому числі 11 таблиць, 13 рисунків, бібліографії із 23 літературних джерел.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Використання полімерів та утилізація полімерних відходів

За останні півстоліття річний обсяг виробництва полімерів і матеріалів на їх основі перевищив 200 млн т і впевнено наближається до позначки 300 млн т [1–3] (рис. 1.1).

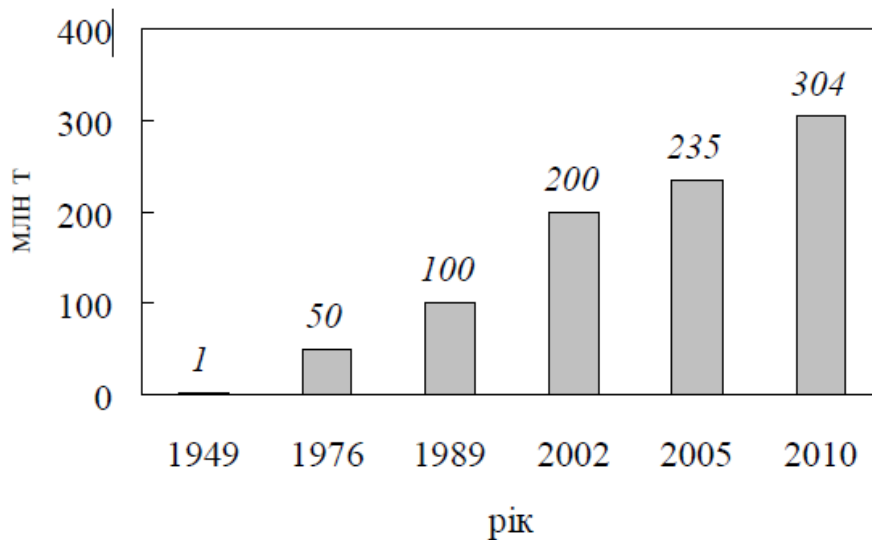


Рисунок 1.1 - Динаміка світового виробництва пластмас.

Наприкінці ХХ і особливо на початку ХХІ століття відбувається помітне підвищення ролі вторинної сировини. Підґрунтям цього явища є все більші труднощі із забезпеченням промисловості матеріальними ресурсами й суттєвий прогрес у створенні ефективних технологій переробки промислових і побутових відходів. Утилізація відходів, у тому числі і полімервмісних, перетворюється на одну з головних соціально-економічних і технічних проблем розвитку виробництва [5–8].

Виділяють два основні шляхи поводження з полімерними відходами виробництва та споживання: утилізація (використання відходів як вторинної сировини) і видалення (здійснення процесів чи операцій, що не пов'язані й не приводять до утилізації відходів) [6] (рис.1.2).

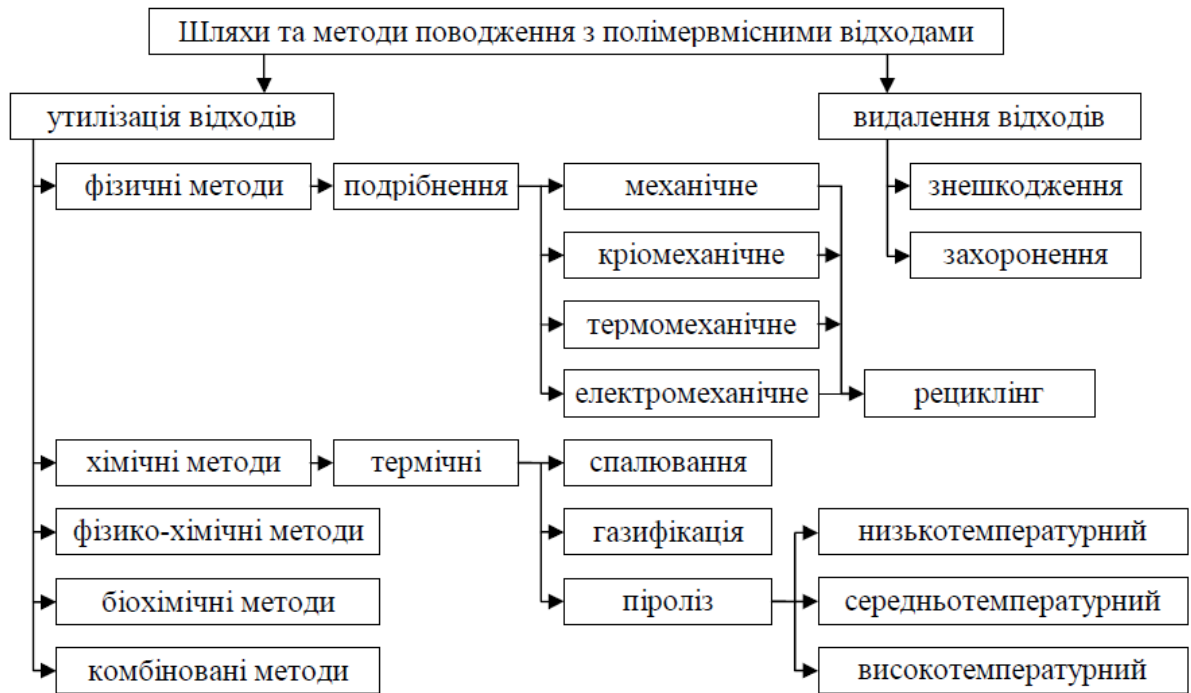


Рисунок 1.2 - Основні методи та шляхи використання полімерних відходів.

Методи утилізації відходів можна поділити на такі основні групи [1, 2, 5, 7]:

– фізичні методи, під час реалізації яких змінюються лише форма, розміри, агрегатний стан і деякі інші властивості матеріалу відходів за умови збереження їх якісного хімічного складу; ці методи притаманні методам, застосовуваним для переробки первинної сировини;

– хімічні методи, під час реалізації яких змінюються фізичні властивості і якісний хімічний склад, причому взаємодія речовин здійснюється в

стехіометричних співвідношеннях, які визначаються рівняннями хімічних реакцій;

– фізико-хімічні методи, під час реалізації яких відбуваються взаємопов'язані фізичні й хімічні перетворення, причому хімічна взаємодія речовин здійснюється в не стехіометричних співвідношеннях;

– біохімічні методи, під час реалізації яких мають місце хімічні перетворення за участі мікроорганізмів;

– комбіновані методи, які є сполученням методів різних груп, один з яких може бути домінуючим [4].

Отже, основні методи утилізації можна реалізувати за трьома напрямками: матеріальним, термічно-сировинним та безпосередньо енергетичним.

Методи видалення відходів можна поділити на такі основні групи [6]:

– знешкодження, тобто зменшення чи усунення шкідливості відходів фізичним (зокрема механічним), фізико-хімічним чи біологічним обробленням;

– захоронення, тобто остаточне розміщення відходів у процесі їх видалення в спеціально відведених місцях чи на об'єктах таким чином, щоб довгостроковий шкідливий вплив відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини не перевищував установлених нормативів.

Найдешевшим і найрозповсюдженим (але і найнераціональним) на тепер способом поводження з відходами є їх захоронення. Однак суттєве збільшення кількості ділянок під полігони і звалища, а також відсутність контролю за ними може призвести до забруднення води й повітря, виникнення пожеж, масового розмноження гризунів тощо.

Основний недолік захоронення відходів – це безповоротні втрати потенційно відновлюваних матеріалів, тому все більше уваги приділяється методам утилізації [3].

Найдоцільнішим з методів утилізації є використання полімервмісних відходів як вторинної сировини. У цьому випадку майже повністю використовуються всі властивості полімерів саме з точки зору їх призначення.

Таблиця 1.1

Класифікація вторинної полімерної сировини

Категорія полімерної сировини	Клас полімерної сировини	Вид полімерної сировини	Група полімерних відходів	
			поворотні відходи	неповоротні відходи
1	2	3	4	5
Відходи виробництва	Термопластичні	Поліолефіни, полістироли, полівінілхлориди, поліформальдегіди, полікарбонати, поліефіри, поліакрилати, поліаміди	Чисті витоки з сопла, облой, ливники, некондиційна продукція, прогінні маси термопластів одного виду, у тому числі і під час переходу з одного кольору на інший	Нагари, термодеструктований матеріал, прогінні маси під час переходу з одного виду сировини на інший, забруднені розсипи гранул, залишки сировини, які повністю або частково втратили початкові властивості і не відповідають нормативним документам
Відходи споживання	Термопластичні	Поліолефіни, полістироли, полівінілхлориди, поліформальдегіди, полікарбонати, поліефіри, поліакрилати, поліаміди	–	Вироби культурно-побутового призначення: канцелярські, галантерейні, сантехнічні товари, електроприлади, дитячі іграшки, корпусні деталі телерадіоапаратури, тара промислового і господарського призначення (ящики, бочки, каністри, банки і т. ін.)
Відходи виробництва	Терморезистивні	Фенопласти, амінопласти, склопластики	–	Облой, ливники, нагари, витоки з форм, просипки матеріалу, некондиційна продукція
Відходи споживання	Терморезистивні	Фенопласти, амінопласти, склопластики	–	Вироби культурно-побутового призначення (футляри, скриньки, склянки, канцелярські вироби, підставки, шахи, кулі, доміно, дитячі іграшки, посуд тощо), деталі побутових електропристроїв та електроприладів (вилки, розетки, вимикачі тощо), фотоприладдя, тара і т. ін.
Змішані відходи виробництва і споживання	Різні класи	Різні види	–	Вироби культурно-побутового призначення (дитячі іграшки, електроприлади, радіотовари тощо), змішані розсипи гранул, прогінні маси термопластів під час переходу з одного виду матеріалу на інший

За принципом утворення вторинну полімерну сировину поділяють на три категорії: відходи виробництва, відходи споживання й змішані відходи

виробництва й споживання [7, 8]. При цьому відходи споживання, у свою чергу, поділяють на відходи від виробничого й від побутового споживання.

Також вторинну полімерну сировину поділяють: за характером процесів формування – на класи; за вихідними полімерами – на види; за характеристикою полімерних відходів – на групи (табл. 1.1).

Підсумовуючи викладене, можна зробити висновок, що найбільш перспективним методом утилізації полімерних та інших твердих відходів є їх використання як вторинних матеріальних ресурсів, а саме – для переробки їх у термопластичні матеріали.

1.2. Класифікація термопластичних матеріалів та їх основні технологічні властивості

1.2.1. Класифікація термопластичних матеріалів

Завдяки можливості змінювання властивостей полімеру за рахунок використання наповнювачів, модифікаторів та інших добавок сучасною промисловістю використовується до ста і більше марок полімерних композиційних матеріалів на основі одного базового полімеру, що істотно розширяє його технологічні та експлуатаційні можливості [2, 7].

Полімери, використовувані для створення композиційних матеріалів, яких промисловістю випускається десятки тисяч марок, можна поділити на чотири групи [4]:

- 1) ненасичені полієфіри, фенольні, меламінові, кремнієорганічні смоли, поліфеніленсульфід; понад 90 % марок на основі цих полімерів випускають наповненими;
- 2) полівінілхлорид, поліаміди, епоксидні смоли, полісульфон, поліфеніленоксид, полієфірсульфон, поліуретан, полібутилентерефталат, мочевиноформальдегідні смоли; від 50 % до 90 % марок на основі цих полімерів випускають наповненими;

- 3) поліпропілен, поліамід-6, поліамід-11, поліамід-12, фторопласти, поліацеталі, полікарбонати, поліетилентерефталат; від 25 % до 50 % марок на основі цих полімерів випускають наповненими;
- 4) ефіри целюлози, акрилові полімери, поліетилен, полістирол; до 10 % марок на основі цих полімерів випускають наповненими.

При цьому значну частку (у 2002 році приблизно третину [5]) серед полімерних композиційних матеріалів займають ТпКМ.

Широкого використання ТпКМ набули з таких міркувань:

- 1) додавання до полімерів дешевих наповнювачів зменшує вартість ТпКМ;
- 2) створення ТпКМ з поліпшеними порівняно з полімером властивостями (фізико-механічними, фізико-хімічними, теплофізичними, оптичними, естетичними, технологічними та ін.);
- 3) створення ТпКМ з максимально реалізованими в них властивостями наповнювачів (властивості ТпКМ в основному визначаються властивостями наповнювача, якщо його вміст у композиції досягає 70 %) [6];
- 4) можливість утилізації відходів полімерів і пластмас, а також інших матеріалів, застосовуваних у ТпКМ як наповнювачів;
- 5) наявність суттєвих технологічних та експлуатаційних переваг порівняно з термореактивними композиційними матеріалами (ТрКМ): можливість переробки більшістю існуючих методів, тривалий термін зберігання сировини перед її переробкою, відносно невелика тривалість формування, високий коефіцієнт використання матеріалу, ремонтпридатність виробів, можливість повторної переробки, велика ударна в'язкість, значна хімічна тривкість та ін.

Залежно від типу наповнювача розрізняють дисперсні, армовані й дисперсно-армовані структури ТпКМ [4, 6], при цьому в окремі класи можна виділити багат шарові, комбіновані, гібридні й поліматричні ТпКМ [11] (рис. 1.3 [12]).

Залежно від типу наповнювача ТпКМ поділяють на дисперснонаповнені матеріали (наповнювач – дисперсні частинки), армовані матеріали (містять

зміцнювальний наповнювач зазвичай безперервної структури), газонаповнені й рідиннонаповнені матеріали [5, 8].

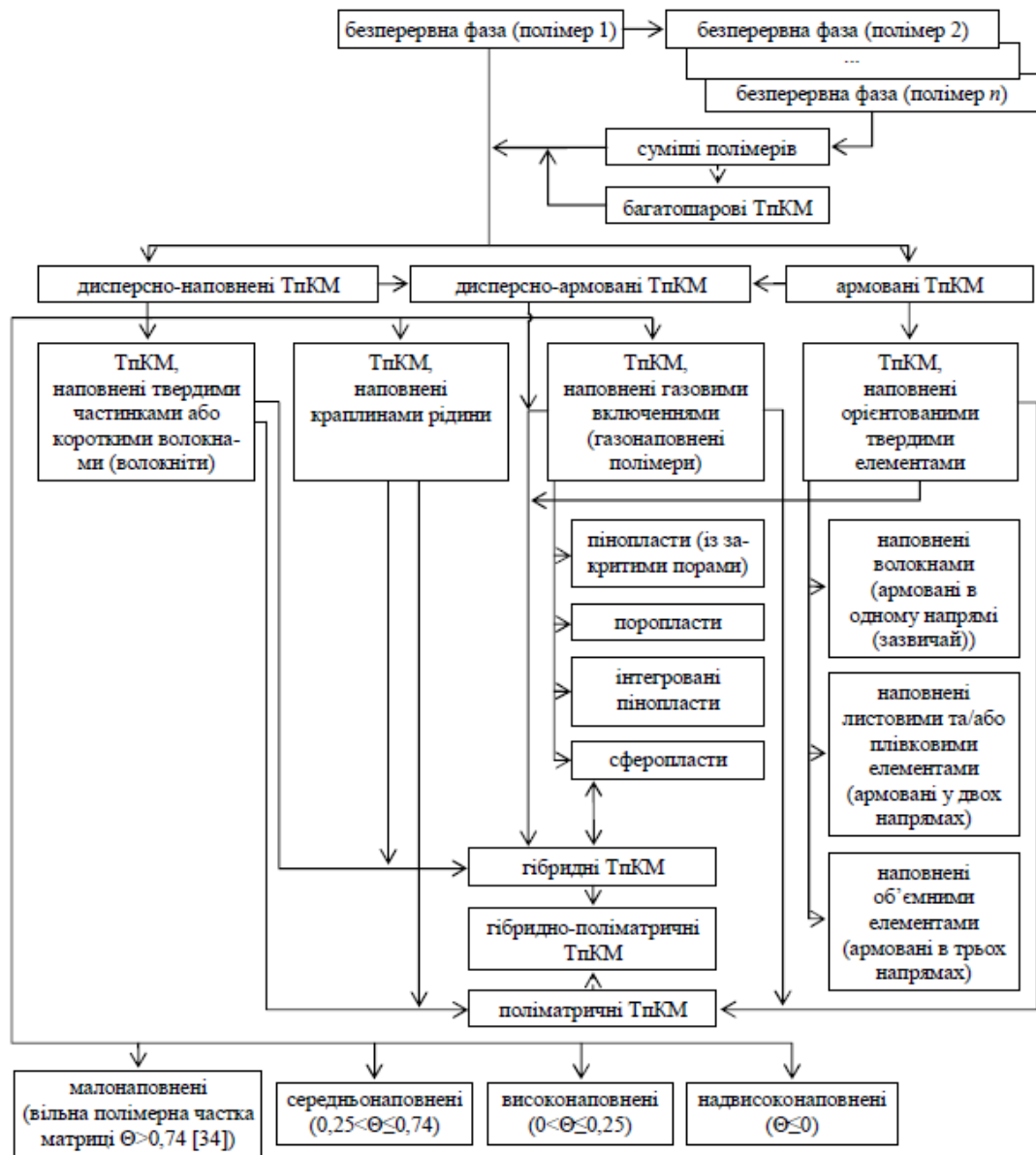


Рисунок 1.3 - Класифікація термопластичних композиційних матеріалів.

За механізмом впливу на ТпКМ наповнювачі можна поділити на три типи [7]:

1. Інертні. Це наповнювачі, мета застосування яких – здешевлення кінцевого продукту, коли припустимо певне погіршення властивостей ТпКМ порівняно з чистим полімером.

2. Активні. Це наповнювачі, поліпшені технологічні властивості яких також хімією поверхні частинок відносно до певного полімеру.

3. Функціоналізовані. Це поверхнево-модифіковані наповнювачі, модифікацію яких здійснюють органічними апретами або неорганічними сполуками, після чого наповнювачі стають носіями спеціальних властивостей, що дає можливість доповнювати, замінювати або заощаджувати певні технологічні цільові добавки.

До наповнювачів ставлять загальні вимоги [5, 8]: сумісність з полімерною матрицею і здатність диспергуватися в ній з утворенням композиту однорідної структури; добра змочуваність розплавом полімеру; термічна, механічна, термічна й хімічна стійкість під час приготування композиту, а також зберігання та експлуатації виробу (крім спеціальних наповнювачів, наприклад, антипіренів); відсутність істотного погіршення перероблюваності композиту; незначна вартість. Специфічні вимоги, які ставлять до наповнювачів, залежать від прогнозованих властивостей одержуваних ТпКМ.

Властивості ТпКМ визначаються властивостями полімерної матриці й наповнювача, співвідношенням їх вмісту в композиції, характером розподілу наповнювача в матриці, природою взаємодії на межі поділу «полімер–наповнювач». При цьому наповнювач, поліпшуючи певні характеристики ТпКМ, може одночасно погіршувати інші його властивості.

Тому в кожному конкретному випадку під час вибору типу, концентрації й способу поверхневої модифікації наповнювача необхідно ретельно збалансувати ефекти, обумовлені присутністю в складі ТпКМ наповнювача та інших компонентів [7].

Характер взаємодії твердих наповнювачів з іншими компонентами сумішей (змочування, адсорбція, адгезія, тертя та (або) хімічна реакція) визначається головним чином складом наповнювачів і структурою їх поверхні.

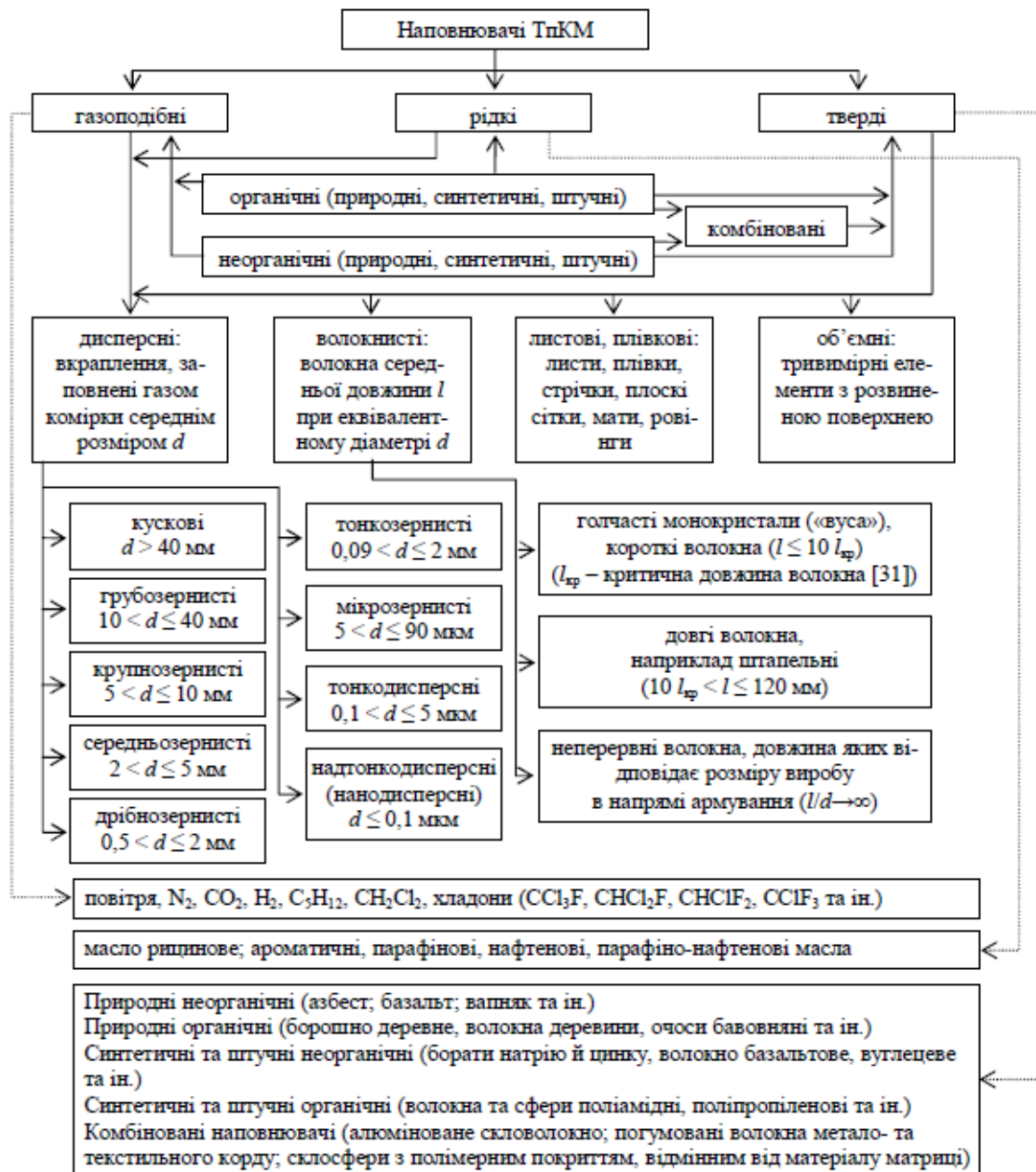


Рисунок 1.4 - Класифікація наповнювачів термопластичних композиційних матеріалів

(d – еквівалентний розмір частинки наповнювача).

Властивості поверхні залежать не тільки від природи й фазової структури наповнювачів, але й від способу та умов їх одержання, а також від обробки поверхні. При цьому важливе значення мають також загальна або питома величина поверхні наповнювачів, її дефектність і шорсткість.

Так, наприклад, гумова крихта, одержана пружнодеформаційним способом у роторному подрібнювачі, відрізняється від кригеної крихти меншими розмірами й розвиненою поверхнею з активними функціональними групами [8, 9].

Класифікацію наповнювачів наведено на рис. 1.4 [14, 15, 16]. Різноманітність природи наповнювачів, форми, розмірів і властивостей їх частинок, можливість модифікування, а також поєднання декількох наповнювачів дає можливість створювати величезну кількість марок композиційних матеріалів зі спеціальними властивостями [13, 15].

У 2005 році світове споживання наповнювачів досягло 15 млн т, вартість яких становила приблизно 6 млрд євро. При цьому щорічний приріст споживання наповнювачів приблизно на 1 % випереджає приріст споживання полімерів [6, 7].

Розробка нових ТпМ, і в першу чергу з використанням вторинної сировини, методи їх переробки, а також створення й модернізація технологічного обладнання для їх одержання й переробки у виробі передбачає наявність даних багатьох властивостей цих матеріалів, одними з визначальних яких під час проектування обладнання для одержання й переробки ТпМ (а саме з метою визначення енергосилових параметрів обладнання й температурних полів перероблюваного матеріалу) є теплофізичні та реологічні властивості.

1.3 Використання вторинних фторопластів

При переробці політетрафторетилену (фторопласту марки Ф-4 або його зарубіжних аналогів), отримують 30-40% відходів у вигляді стружки, облоя, деталей, що відпрацювали. В результаті у світі накопичується тисячі тонн відходів даного матеріалу. З огляду на високу ціну первинного ПТФЕ використання вторинної сировини є актуальним питанням [10].

Переробка вторинного ПТФЕ є складним завданням як з логістичної, так і з виробничої точки зору. У процесі переробки матеріал проходить наступні етапи:

1. Накопичення та зберігання відходів на підприємствах (стружка, облой, шлюб) та сортування за типом полімеру.
2. Транспортування на переробне підприємство.
3. Прийом та сортування.
4. Очищення від забруднень (волога, металева стружка тощо).
5. Переробка.
6. Відправлення споживачеві.

Основним технологічним процесом переробки відходів ПТФЕ є його подрібнення до певної фракції (розміру частинок).

Аналізуючи літературні джерела [7, 8, 10, 12] можна назвати чотири види помелу вторинного ПТФЕ:

- грубий помел (понад 100 мкм);
- тонкий помел (50-100мкм);
- надтонкий помел (10-50мкм), практично відповідає розміру частинок первинного фторопласту-4 (6-20мкм);
- ультра тонкий помел (менше 6мкм).

Процес подрібнення вторинного фторопласту пов'язаний з високими енергетичними витратами та необхідністю у досить великому «парку» обладнання, технологічного підходу, що враховує фізичні та хімічні особливості політетрафторетилену.

1.4 Методи подрібнення відходів фторопластів

Переробка вторинного ПТФЕ у зв'язку з його особливостями, а саме з неможливістю отримати в'язко-плинний стан розплаву і збереження високоеластичних властивостей до криогенних температур (температура склування - 130 °С) істотно відрізняється від методів переробки більшості термопластів (подрібненням їх на дробарках або грануляцією з подальшою екструзією) [15].

Способи подрібнення

В даний час використовуються переважно два методи:

- 1) криогенне подрібнення відходів у середовищі рідкого азоту або інертних газів;
- 2) механічне подрібнення відходів методом ударної дії.

Вибір способу подрібнення відходів фторопласту залежить від вимог, що пред'являються до кінцевого продукту подрібнення - порошку: його дисперсності, чистоті та розмірам частинок, які, як визначено експериментально, повинні бути від 50 до 200 мкм.

Спосіб подрібнення може впливати на молекулярну масу і форму частинок порошку, визначаючи тим самим його подальше використання для переробки у виріб. При виборі способу подрібнення необхідно враховувати продуктивність процесу, енергометалоємність обладнання та інші економічні показники, що визначають ефективність застосування відходів у промисловості [13].

Криогенне подрібнення

Спосіб криогенного подрібнення пластмас полягає в тому, що матеріал піддається охолодженню агентами, такими як, наприклад, рідкий азот, для надання йому крихкості, після чого він легко подрібнюється в дробарках і млинах різних конструкцій.

Переваги способу криогенного подрібнення в тому, що на виході маємо дрібнодисперсний порошок полімеру з гарною формою частинок - переважно сфероїдальної. При цьому зведена до мінімуму можливість термодеструкції полімеру та швидкість процесу подрібнення досить велика [11-13].

Однак спосіб криогенного подрібнення вимагає застосування дорогих матеріалів, спеціального обладнання, великих робочих площ або приміщень для зберігання хладагенту, а також кваліфікованого персоналу. У зв'язку з цим він знаходить обмежене застосування, практично, тільки в лабораторних умовах.

Інші способи переробки

Для очищення від сторонніх домішок та отримання надчистого продукту іноді після криогенного подрібнення фторопласт піддають додатковому обробленню сумішшю водяної пари сірчаної та соляної кислот, в результаті чого отримують високоякісний дрібнодисперсний порошок білого кольору.

У деяких випадках перед подрібненням відходи фторопласту піддають опроміненню іонізуючим радіоактивним випромінюванням потужністю дози до 5 Мрад, після чого подрібнюють на механічних дробарках. При опроміненні фторопласту його молекулярна маса знижується до 10 000, при подрібненні виходить дрібнодисперсний порошок, з якого надалі виготовляються волокна або мастила [5,6].

Іноді опромінення відходів поєднують з їх нагріванням, в цьому випадку відходи опромінюють дозою до 2 Мрад при температурах 200-300⁰С. Після подрібнення обробленого таким чином продукту отримують порошок з розміром частинок до 5 мкм [7]. Взагалі радіаційне опромінення відходів фторопласту нерентабельне, оскільки вимагає дорогого устаткування, а ті другосортні вироби, котрим призначаються відходи, не виправдовують витрат за це устаткування.

З метою зменшення молекулярної маси ПТФЕ та полегшення його дроблення на стандартному устаткуванні - кульових або роторно-ножових млинах вдаються до високотемпературного нагрівання полімеру, який здійснюють при 390-410 °С протягом 1-3 год.

У процесі нагрівання утворюється пороподібний моноліт, який легко подрібнюється на порошок з розміром частинок до 100 мкм [8]. Але, як зазначалося, внаслідок радіаційного опромінення чи високотемпературного нагрівання зменшується молекулярна маса ПТФЕ, процес подрібнення полегшується, виходить тонкодисперсний порошок.

Разом з тим отриманий порошок має гірші властивості, ніж вихідний полімер, і тому може бути використаний лише як мастила, наповнювача в композиціях або для виготовлення невідповідних виробів.

Вкажемо ще два способи переробки відходів термопластичних фторполімерів, які відрізняються від традиційних способів переробки.

По одному з них подрібнення відходів термопластів здійснюється в результаті зіткнення частинок при транспортуванні їх зустрічними струменями повітря, формування яких відбувається у двох розгінних трубах, встановлених на одній осі назустріч одна одній. Цим способом отримують дрібнодисперсний чистий порошок, але спосіб вимагає компресорного обладнання та малопродуктивний [9].

Інший спосіб дроблення термопластів полягає в інтенсивному перемішуванні їх з кухонною сіллю, нагрітою до 500 °С або охолодженою - 130 °С в залежності від складу відходів. Установа для здійснення цього способу являє собою барабан, що обертається, вісь якого дещо нахилена, барабан має гвинтові лопаті для кращого перемішування. У процесі перемішування відходи, нагріваючись об кристали солі, стираються до дрібних фракцій або, охолоджуючись, набувають крихкості і теж руйнуються кристаликами солі на дрібні фракції [10], Недолік способу полягає в додатковій операції очищення подрібнених відходів від солі.

Ударний спосіб подрібнення

Аналіз різних способів та пристроїв для переробки відходів фторопластів показав, що для отримання дисперсного порошку з оптимальним розміром частинок 200 мкм, необхідним для якісного виготовлення вторинних виробів, та підвищення продуктивності процесу подрібнення найбільш прийнятним в даний час є подрібнення на відцентрових млинах ударного типу.

В основі процесів подрібнення матеріалів лежить спосіб послідовного застосування статичних або динамічних навантажень, результатом яких стало б створення в ньому таких напруг, які перевищували б внутрішні сили зчеплення частинок між собою і руйнували б їх.

В даний час експериментально встановлено, що для подрібнення пластичних матеріалів, якими є фторопласт, необхідний не статичний додаток

навантажень — стиск, а динамічний удар. У момент застосування динамічних навантажень у в'язкопружному фторопласті протікають одночасно два процеси - накопичення потенційної енергії деформації та розсіювання накопиченої енергії [14].

Для подрібнення полімеру необхідно, щоб швидкість накопичення енергії деформації у багато разів перевищувала швидкість її розсіювання.

Це можливо лише при високошвидкісних деформаціях полімеру, які реалізуються у млинах ударної дії.

Температурні проблеми інтенсивної обробки

Процес деформації та подальшого руйнування частинок фторопласту супроводжується виділенням великої кількості теплоти, зі збільшенням швидкості обертання ротора навіть на холостому ході температура повітря у млині зростає. У процесі подрібнення фторполімеру температура газодисперсного потоку частинок у млині при лінійній швидкості навантаження 110 м/с та продуктивності млина 15 кг/год досягає 180 °С, а при швидкості 150 м/с і тієї ж продуктивності - 230-250 °С. Таким чином, дисперсність подрібнюваних частинок та продуктивність млина залежать від температури середовища в млині [8-10].

З метою зниження температури газодисперсного потоку подрібнюваних частинок хоча б до 120-150 °С необхідно зменшити лінійну швидкість навантаження ротора і продуктивність процесу подрібнення, а також вести охолодження корпусу млина.

Експериментально встановлені оптимальні значення лінійної швидкості обертання більшого ступеня ротора - 120 м/с і продуктивності - 12 кг/год.

Оптимізація помелу – цикл «млин-класифікатор»

Одним із шляхів підвищення продуктивності тонкого подрібнення відходів фторопластів є використання в технологічній схемі подрібнення

класифікатора частинок, який поділяє подрібнений матеріал на дрібні та грубі фракції та повертає грубіші фракції назад у ємність для вихідного продукту.

Можливість отримання 100 % подрібнених частинок розміром до 200 мкм може бути оптимально (за витратами енергії) реалізована за рахунок постійної сепарації їх із зон подрібнення для того, щоб вони не заважали подрібненню більших частинок. Це може бути забезпечено безперервною класифікацією продукту кожної стадії подрібнення. Конструктивне рішення щаблів ротора і корпусу млина дозволяє, по-перше, поєднати процес подрібнення та класифікації в одному пристрої, а по-друге, змінити аеродинаміку газодисперсного потоку частинок у млині та повністю виключити проскок їх із щаблі на щабель без руйнування [13-15].

Висновки до розділу 1

У розділі розглянуті питання використання вторинного ПТФЕ та інших матеріалів як матриці та наповнювача для ПКМ, особливості технології подрібнення вторинного ПТФЕ, зміна фізико-механічних властивостей матеріалу при додаванні вторинної сировини.

Прогрес у галузі енергетичного машинобудування призводить до ускладнення умов роботи вузлів тертя та вимагає застосування антифрикційних матеріалів з високою міцністю та зносостійкістю.

Вузли тертя насосів, торцеві ущільнення та підшипники визначають їхню працездатність, а підвищення довговічності є актуальним завданням насособудування.

Перспективними матеріалами для застосування у вузлах тертя енергетичних машин є композити на основі ПТФЕ та різних наповнювачів.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ

2.1. Властивості об'єктів дослідження

При проведенні досліджень використані стандартні методи прийняті при проведенні подібних досліджень, а також деякі нові підходи, засновані на сучасних методах вирішення інженерних завдань.

Фізико-хімічні й технологічні аспекти формування складу, структури та властивостей композитного матеріалу наданого для дослідження підприємством – зруйноване кільце поршня та втулка з якої було виготовлено поршневе кільце.

Методи досліджень – експериментальні дані одержані з використанням стандартних методів визначення фізико-механічних і триботехнічних властивостей, оптична мікроскопія, мікроструктурний аналіз.

2.1.1 Фізико-хімічні властивості матриці ПКМ – фторопласт-4

Фторопласт-4 – це продукт суспензійної полімеризації тетрафторетилену. Відповідно до ГОСТ 10007-80 залежно від призначення та методів переробки випускається наступних марок:

С - для виготовлення спецвиробів;

П - для електроізоляційної та конденсаторної плівок;

НП - для електротехнічних виробів та інших виробів із підвищеною надійністю;

О - для виробів загального призначення та композицій;

Т - для товстостінних виробів та трубопроводів.

Останнім часом промисловістю випускається також тонкоподрібнений фторопласт марки Ф-4Т (ТУ 6-05-1999-85), який відрізняється малими розмірами частинок (від 0,025 до 0,04 мм) та призначений для виготовлення

високоякісних електротехнічних виробів електроізоляційних плівок та наповнених композицій [7].

Зважаючи на те, що в політетрафторетилені до вуглецевого скелета приєднуються лише атоми фтору і зв'язок вуглець-фтор є одним із найміцніших зв'язків, полімер має прекрасне поєднання фізичних і хімічних властивостей, які неможливо знайти в жодному іншому матеріалі. Він не розчиняється в жодному з відомих розчинників, є найбільш хімічно стійким матеріалом з усіх відомих пластмас; витримує високі температури (робоча температура до 250 °С); є одним із найкращих діелектриків.

Таблиця 2.1

Основні показники ПТФЕ [7]

Параметр	Показник
Густина, г/см ³	2,14-2,0
Температура плавлення кристалітів, К	600±10
Температура склування аморфних ділянок, К	150±10
Міцність при стиску, МПа	18
Міцність при розриві незагартованого зразка, МПа	25
Відносне подовження при розриві незагартованого зразка, %	350
Модуль пружності при стиску, МПа	686,5
Модуль пружності при розтягу, МПа	410
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,25
Модуль пружності при розтягу, МПа	410
Коефіцієнт тертя	0,04

Молекули політетрафторетилену побудовані у вигляді правильного зигзагоподібного спірального ланцюга. Полімер містить до 80-85% кристалічної фази. Аморфна частина має температуру склування - 120 °С, але

навіть і при нижчій температурі полімер не втрачає еластичності через гнучкість макромолекул і невелику величину міжмолекулярних сил [11].

Ступінь кристалічності, яку можна регулювати в межах від 45 до 85% часом та температурою переробки, впливає на фізико-механічні властивості політетрафторетилену. Основні показники ПТФЕ зазначені в таблиці 2.1.

2.1.2 Фізико-хімічні властивості наповнювача - коксу

Кокс кам'яновугільний - твердий залишок високотемпературної переробки кам'яного вугілля - в усіх областях використання являється, передусім, горючим матеріалом; проте залежно від технології того або іншого процесу міняється характер його використання [16].

Органічна речовина коксу містить 96,5-97,5% вуглецю, 0,5-0,8% водню, 0,3- 0,4% кисню і невеликі кількості сірки і азоту.

Волога утримується великими порами коксу. Оскільки кокс гігроскопічний, то велику вологість він має лише при зануренні у воду і при переливанні.

Вміст золи в коксі обумовлений змістом її в коксованому вугіллі. Сірка в коксі міститься у вигляді органічної (72% від загальної кількості), сульфідної (25%) і сульфатної (3%). Пористість росте із збільшенням швидкості коксування. Таким чином залежно від технологічних умов виробництва, пористість коксу може складати 35% - 55%.

Міцність коксу характеризується його кусковатістю, тобто розподілом шматків по класах за розміром. Кількісне вираження такого розподілу називається ситовим складом [14].

Відповідно до вимог, що пред'являються до коксу, властивості його можуть бути розділені на чотири категорії: хімічні (хімічний склад), фізичні, фізико-хімічні і фізико-механічні властивості насипної маси.

Хімічний склад коксу визначається технічним аналізом (вологість, зольність, сірчистість, фосфористість, вихід летючих речовин), а також елементарним аналізом (зміст вуглецю, водню, кисню, азоту та ін.).

Волога в коксі знижує теплоту його згорання внаслідок зменшення змісту горючих компонентів, а також із-за збільшення витрати теплоти на її випар. Зазвичай вологість товарного великого коксу розміром більш 25мм складає 2 - 3% з коливаннями в окремих партіях не більше $\pm 1\%$. Вологість коксу підвищується із зменшенням розміру шматків, що пов'язано з розвиненішою питомою поверхнею дрібних класів.

Для визначення вологи навішування коксу висушують в сушильній шафі при температурі 230 — 235°C [14].

Робочою вологістю вважають втрату маси при висушуванні, віднесену до початкового навішування і виражену у відсотках. Зола коксу (зольність) є прожареною сумішшю мінеральних речовин, що містяться в коксі.

Мінеральні речовини, що містяться в коксі, знижують теплоту його згорання внаслідок зменшення змісту горючих компонентів, а також за рахунок збільшення витрати теплоти на нагрівання і плавлення мінеральної маси [14].

Для використання кам'яновугільного коксу в якості наповнювача для ПТФЕ його необхідно додатково подрібнити до фракції 10-100мкм і максимально висушити.

2.1.3 Властивості фторопластів Ф4К20

Фторопласт Ф4К20 - це композиційна марка Ф4 (білий) з добавкою 20% коксового наповнювача, що надає пластику в порівнянні з маркою Ф4 унікальні характеристики та властивості [6,7].

Вироби з коксонаповненого фторопласту характеризуються підвищеною зносостійкістю, що в 600 разів перевищує показники марки Ф4. А при перевірці на 10% деформацію на стиск показник внутрішньої напруги збільшується на 30%.

Наявність 20% коксу в пластичній масі підвищує спектр температурних режимів від -60 до +250°C, при короткочасному впливі до +300°C.

Таблиця 2.2

Властивості фторопластів Ф4К20 [11]

Параметр	Показник
Щільність, г/см ³	2,05
Межа плинності, МПа	14
Міцність при розриві, МПа	12-15
Відносне подовження, %	60-120
Модуль пружності, МПа	1200
Твердість по Брінель, МПа	49-53
Деформація при розтягуванні	6
Деформація при стисканні	7,2
Теплоємність, Дж/(кг·С)	0,985
Коефіцієнт тертя	0,27
Інтенсивність зносу	1

2.2 Випробування на розтягування

Випробування на розтяг зразків були проведені згідно з ДСТУ 11262-80. Випробування проводились на розривній машині Р-0,5 (рис. 2.1) у сертифікованій лабораторії кафедри опору матеріалів СумДУ.

Перед випробуваннями зразки пройшли кондиціонування при стандартній лабораторній атмосфері, визначеній за ДСТУ 12423-66.

Випробуванням піддавалися зразки у формі кільця (діаметр внутрішній 40±0,5 мм, зовнішній діаметр 44±0,5 мм, ширина кільця 5±0,5 мм). Шкала вимірювання приладу від 0 до 100 кгс.

Швидкість переміщення захватів – 1мм/хв.

Спосіб виготовлення всіх зразків - точіння на токарному верстаті, виконано згідно з ДСТУ 12015-66 та ДСТУ 12019-66 (метод виготовлення зразків).



Рисунок 2.1 - Пристрій для випробувань зразків на розтягування.

2.3 Визначення густини зразків

Методом вимірювання щільності обрали метод гідростатичного зважування, який використовувався в роботі відповідно до ДСТУ 15139-69. При реалізації в роботі даного методу зважування зразків проводили на аналітичних вагах ВЛА-200 з точністю до 0,1 мг. Для визначення густини твердого тіла гідростатичним зважуванням тіло спочатку зважують у повітрі, а потім у рідині, густина якої відома.

2.4 Випробування на тертя

Випробування показників зношування зразка проводилися згідно з ДСТУ 11012-74, на випробувальній установці СМТ-1 встановленої в лабораторії кафедри ПМ і ТКМ СумДУ.

Зразок пройшов кондиціювання, далі проводили випробування за стандартної лабораторної атмосфери, визначеної за ДСТУ 12423-66. Випробуванням піддавався зразок у формі напіввкладишу (довжина $28 \pm 0,5$ мм, ширина $16 \pm 0,5$ мм, висота $12 \pm 0,5$ мм, радіус 30 мм).

Як контртіло для випробувань застосовувалася втулка діаметром $60\pm 0,01$ мм зі сталі 45Х (Ra – 1,05 мкм, твердість – 50 HRC).

Швидкість ковзання зразка - 157 м/хв.

Нормальне навантаження на зразок - 4,7 кг/см²

Температура поверхні контртіла зі сталі $45-50\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Шлях тертя приробітку - 3км.

Шлях тертя випробування - 20км.

Приробіток та випробування для кожного із зразків матеріалу проводилася по одному сліду.

Спосіб виготовлення зразка - точіння на токарному верстаті, та фрезерування виконано згідно з ДСТУ 12015-66 та ДСТУ 12019-66 (метод виготовлення зразків).

2.5 Метод мікроскопічного аналізу

Методи мікроскопічного аналізу використовували для визначення розмірів частинок наповнювача та вивчення структури поверхні матеріалу.

Дослідження проводили за допомогою модернізованого мікроскопа МБУ-4.

Результати дослідження одержували у вигляді цифрових фотографій фотозйомкою через окуляр мікроскопу цифровою фотокамерою SONY «Cyber-shot» 6.0 mega pixels.

Висновки до розділу 2

У розділі представлені дані щодо фізико-механічних властивостей фторопласту-4 (матеріал матриці ПКМ) та наповнювача - коксу.

Визначено методи випробувань для перевірки відповідності властивостей наданого замовником із властивостями регламентованими ТУ.

Для вивчення структури матеріалу запропоновано метод мікроскопічного аналізу.

РОЗДІЛ 3

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Постановка завдання дослідження

Як було зазначено вище, підставою для наших досліджень стало замовлення підприємства на визначення причини виходу з ладу поршневого компресора по причині руйнування кільця поршня, виготовленого з ПКМ з матрицею ПТФЕ.

Підприємством було надано для дослідження зруйноване кільце поршня (рис. 3.1-3.3) і втулку, з якої було виготовлено поршневе кільце $\varnothing 188 \times \varnothing 140 \times 60$ мм, матеріал Ф4К20 (полімерний композитний матеріал на основі фторопласту-4 (Ф-4)).



Рисунок 3.1 - Зруйноване кільце поршня (вид А).



Рисунок 3.2 - Зруйноване кільце поршня (вид В).



Рисунок 3.3 - Зруйноване кільце поршня (вид С).

3.2 Проведення випробування на розтягування

Вихідні дані:

Матеріал зразків: полімерний композитний матеріал на основі фторопласта-4 (Ф-4) і кокса (К) Ф4К20.

Об'єкт випробування: втулки з полімерного композитного матеріалу, розмірами $\varnothing 188 \times \varnothing 140 \times 60$ мм.

Кількість зразків (втулок): 1 шт.

Проведення випробування:

Для проведення випробувань були виготовлені зразки (4 зразка з однієї втулки) у формі кілець з розмірами $\varnothing 146 \times \varnothing 142 \times 5$ мм.

Спосіб виготовлення зразків – точіння на токарному верстаті і слюсарна доводка відповідно до ДСТУ 12019-66 (Пластмаси. Виготовлення зразків для випробування з термопластів).



Рисунок 3.4 - Виготовлені зразки по формі кілець з розмірами $\varnothing 146 \times \varnothing 142 \times 5$ мм з досліджуваного матеріалу.

Випробування на розтягування виконані відповідно до ДСТУ 25.603-82 на розривній машині МР-05-1 (№ 124) в лабораторії кафедри прикладного матеріалознавства та ТКМ Сумського державного університету.

Зразки пройшли кондиціонування та випробовувалися в стандартній лабораторній атмосфері відповідно до ДСТУ 12423-66.

Шкала вимірювання розривної машини – від 0 до 100 кГс.

Швидкість переміщення захватів –10 мм/хв.

Випробуванням піддавалися по 5 представників кожного зі зразків (№ 1-4). Результати фізико-механічних випробувань зразків матеріалу представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Результати фізико-механічних випробувань

№ зразка	Міцність при розриві σ_{pp} , МПа	Відносне подовження при розриві δ , %	Міцність при розриві σ_{pp} , МПа (середнє для 4 кілець)	Відносне подовження при розриві δ , % (середнє для 4 кілець)
1	7.5	36	6.7	29
2	12.9	36		
3	5.0	20		
4	1.7	27		

3.3 Визначення густини зразків

Визначення густини зразків проводили гідростатичним зважуванням згідно з ДСТУ 15139-69.

Таблиця 3.2

Результати фізико-механічних випробувань

№ зразка	Густина ρ , кг/м ³
1	1920

3.4 Проведення випробування на знос

Випробування на знос (триботехнічні випробування) проведені на машині тертя 2070 СМТ-1 (№ 48) відповідно до ДСТУ 11629-75.

Випробування проводили на 1 зразку з кожної втулки.

Зразки пройшли кондиціювання та випробовувалися в стандартній лабораторній атмосфері відповідно до ДСТУ 12423-66.

Проведення випробування

Зразки були виготовлені у вигляді напіввкладиша (довжина $28 \pm 0,5$ мм, ширина $16 \pm 0,5$ мм, висота $12 \pm 0,5$ мм, радіус 22,5 мм) відповідно ДСТУ 12019-66 (Пластмаси. Виготовлення зразків для випробування з термопластів).

Контртіло являло собою втулку $\varnothing 45 \times \varnothing 22 \times 35$ мм зі сталі 45 (HRC 45, Ra - 0,72 мкм).

Швидкість ковзання зразка – 4,0 м/с.

Нормальне навантаження на зразок – 5,550 кг.

Шлях тертя припрацювання – 8478 м.

Шлях тертя випробування – 25434 м.

Температура в зоні тертя – 22-60 °С.

Припрацювання і випробування зразка матеріалу проводилися по одному сліду.

Випробування проводили з водяним охолодженням супорта машини тертя.

Результати фізико-механічних випробувань 4 зразків матеріалу представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати фізико-механічних випробувань

№ матеріалу	Середня інтенсивність зношування $I \cdot 10^{-7}$, мм ³ /Н·М
1	3,2

3.5 Проведення мікроскопічного аналізу

Методи мікроскопічного аналізу використовували для визначення та вивчення структури поверхні зразків. Методи оптичної мікроскопії дозволили виявити ряд особливостей.

Результати мікроскопічних досліджень показали наявність частинок полімеру (ймовірно – вторинного ПТФЕ) як у матеріалі зруйнованого кільця (рис.3.5) так і в матеріалі з якого були виготовлені зразки для проведення фізико-механічних випробувань (рис.3.6, рис. 3.7). Такі частинки не характерні для структури матеріалу Ф4К20 (рис.3.8). Виявлені частинки мають характерний жовтий колір (у зруйнованому кільці), що може свідчити про окиснення матеріалу під впливом високих температур, які виникли в процесі тертя. У матеріалі заготовок частинки мають білий колір і розмір 200-300мкм, що значно перевищує розміри як матеріалу матриці, так і наповнювача регламентованих ТУ.

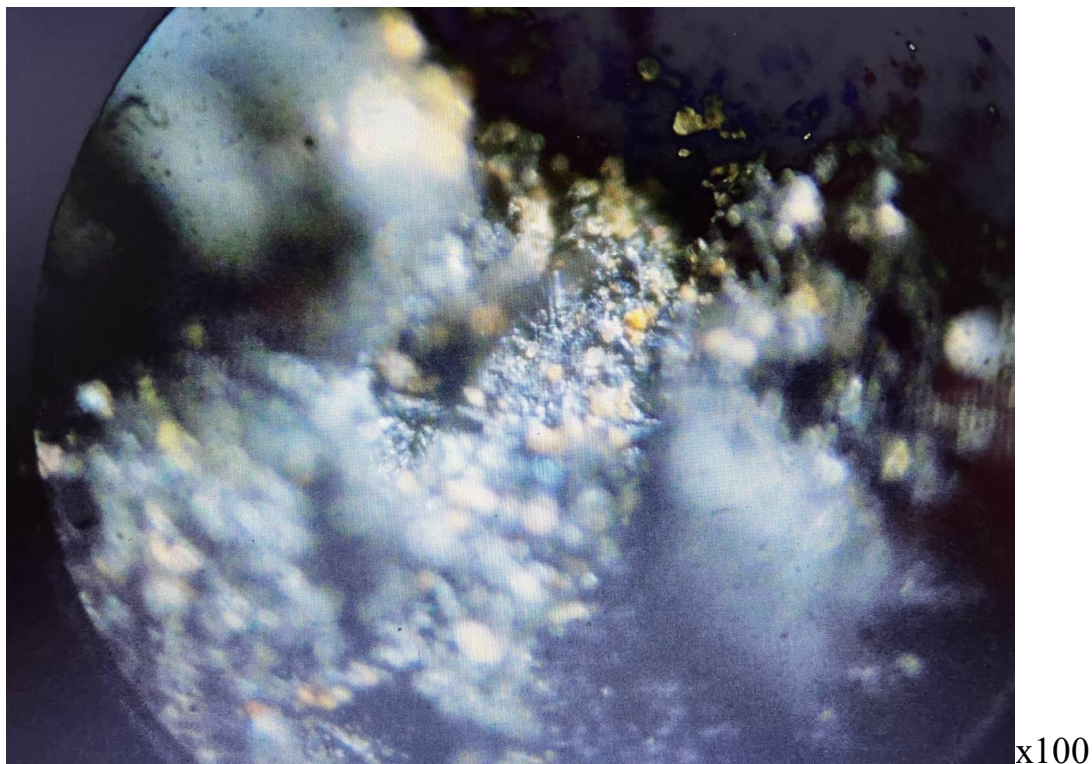


Рисунок 3.5 - Наявність частинок полімеру (найвірогідніше – вторинного ПТФЕ) у матеріалі зруйнованого кільця - жовті частинки.

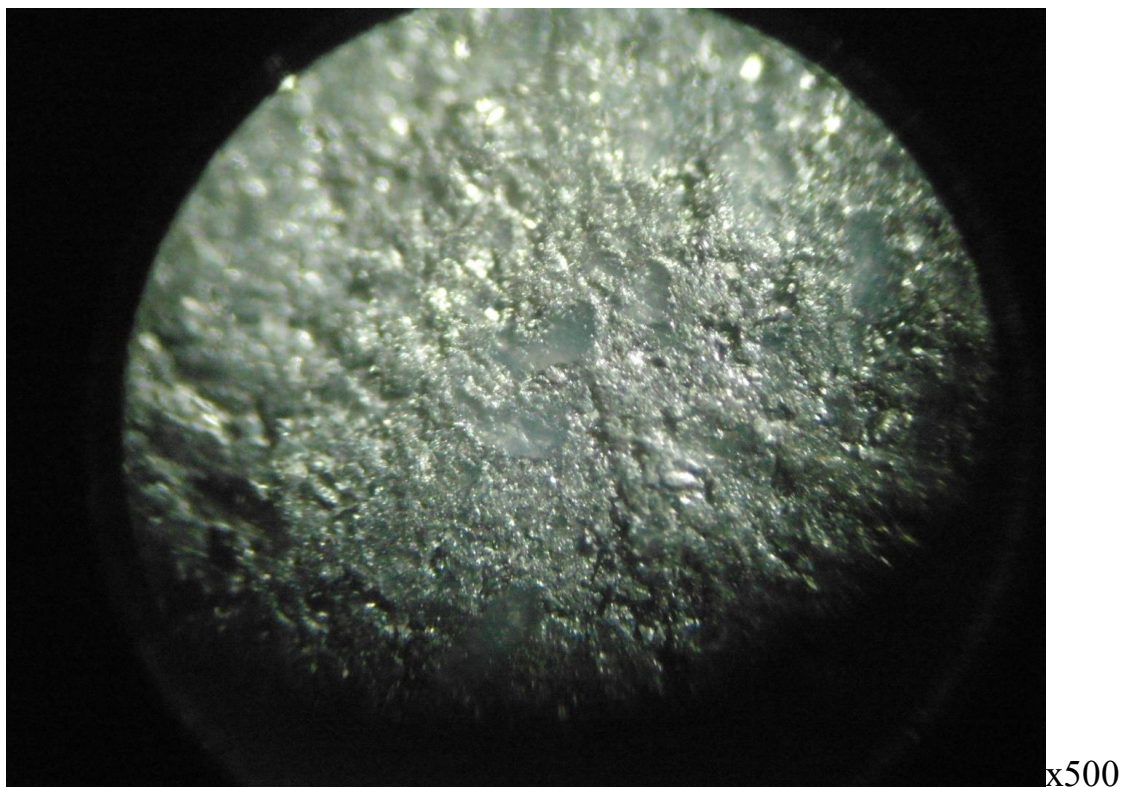


Рисунок 3.6 - Наявність частинок вторинного ПТФЕ у матеріалі зразка № 2 для проведення фізико-механічних випробувань.

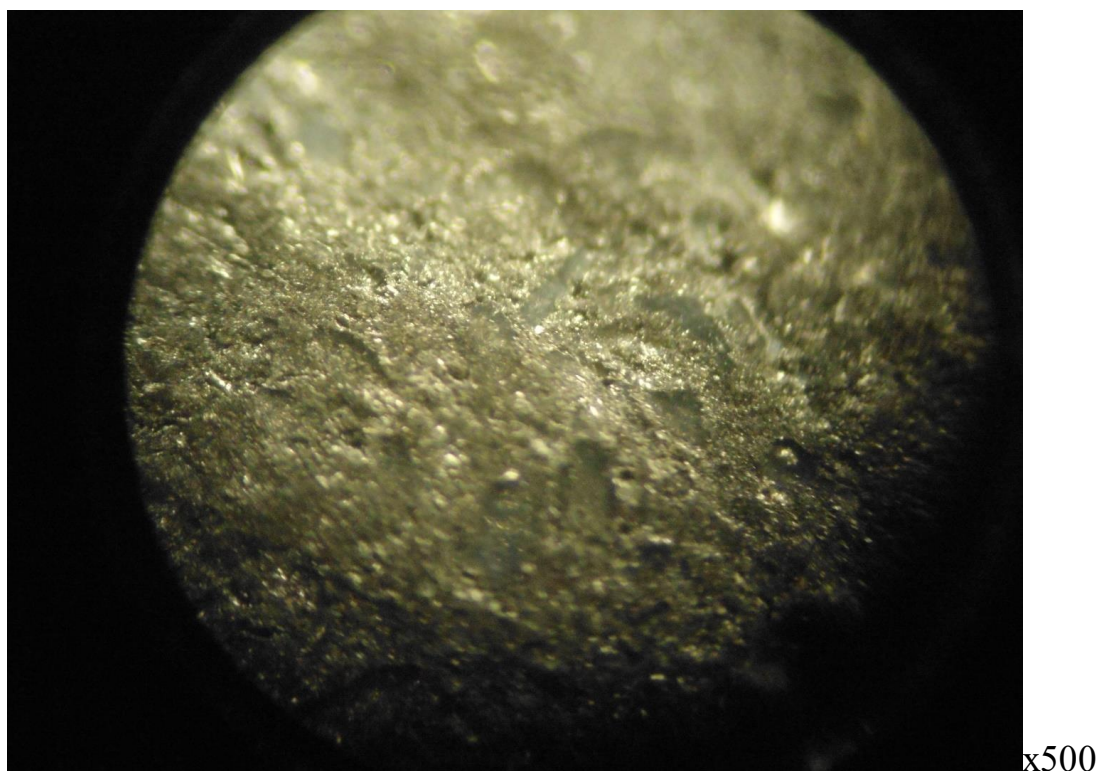


Рисунок 3.7 - Наявність частинок вторинного ПТФЕ у матеріалі зразка № 3 для проведення фізико-механічних випробувань.

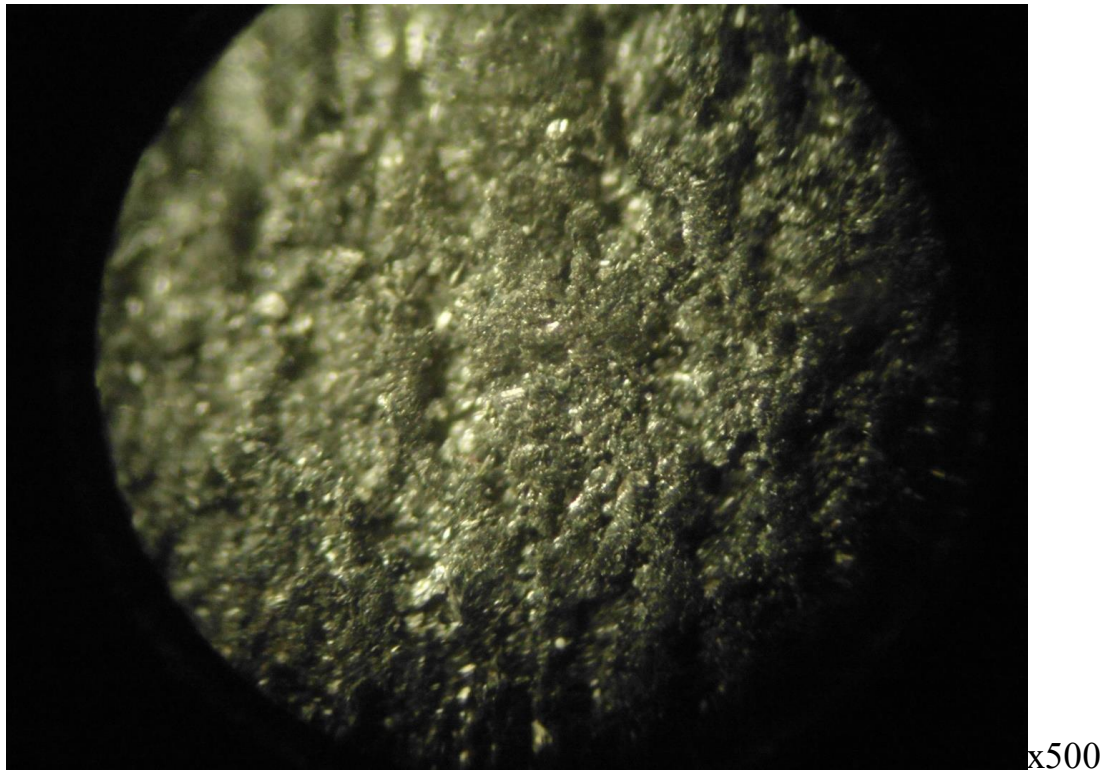


Рисунок 3.8 - Характерна структура матеріалу Ф4К20.

3.6 Рекомендації щодо підвищення властивостей

1. Контроль якості вихідної сировини проводиться для кожної одиниці тари (мішок, ємність тощо) незалежно від його обсягу та ваги.
2. Відбір проби проводиться шляхом хаотичного відбору (проба 100г).
3. Виготовлення втулки для подальших фізико-механічних випробувань матеріалу. (Метод виготовлення - пресування та спікання).
4. Виготовлення експериментальних зразків для проведення випробувань на міцність при розтягуванні та мікроскопічного аналізу.
5. Проведення випробувань та вивчення мікроструктури.
6. Порівняння результатів випробувань із заявленими у сертифікаті якості.

Висновки до розділу 3

В результаті проведення дослідження структури матеріалу, нами було виявлено наявність частинок вторинного полімеру, орієнтовно, ПТФЕ. Використання добавки вторинного полімеру в первинний є досить частим

прийомом технології виробництва ПКМ і при дотриманні виробником «правильної» концентрації, розміру частинок і технології змішування, це не призводить до зниження фізико-механічних властивостей матеріалу в цілому.

В результаті проведення фізико-механічних випробувань зразків наданих замовником було визначено:

Міцність при розтягуванні σ_{pp} (середнє) 6.7 МПа зразків у вигляді кілець виготовлених із втулки, наданої замовником, менше заявлених у ТУ 6-05-1413-76 (Ф4К20, σ_{pp} (12-15 МПа)).

Відносне подовження при розриві δ (середнє) 29%, що нижче ніж регламентовано ТУ 6-05-1413-76 (60-120%), що корелюється з низькою міцністю при розтягуванні.

Щільність матеріалу ρ -1920 кг/м³, що нижче за регламентовану ТУ ρ -2050 кг/м³.

Результати триботехнічних випробувань показують збільшення інтенсивності зношування зразків $3,2 \cdot 10^{-7}$, мм³/Н·м порівняно з $1 \cdot 10^{-7}$, мм³/Н·м регламентованого ТУ.

Результати мікроскопічних досліджень показали наявність частинок полімеру, найімовірніше – вторинного ПТФЕ, як у матеріалі зруйнованого кільця, так і в матеріалі з якого були виготовлені зразки для проведення фізико-механічних випробувань, не характерні для структури матеріалу Ф4К20. Виявлені частинки мають характерний жовтий колір (у зруйнованому кільці), що може свідчити про окислення матеріалу під впливом високих температур, що виникли в процесі тертя. У матеріалі заготовок частинки мають білий колір і розмір 200-300 мкм, що значно перевищує розміри як матеріалу матриці, так і наповнювача регламентованих ТУ.

Зниження фізико-механічних властивостей матеріалу, на нашу думку, пов'язане з розмірами часток нехарактерних структурі Ф4К20 та їх низькою адгезією з матрицею фторопласту-4. Як зазначають літературні джерела [14-18] оптимальний розмір часток для формування ПКМ з матрицею ПТФЕ повинен становити не більше 200 мкм. Частинки з розміром 200-300 мкм з

низькою "адгезійною активністю" поверхні не пов'язані силами адгезії з матеріалом матриці ПТФЕ і структурно, отже, "працюють" як тріщина в матеріалі.

На зниження міцності впливає ще й той факт, що за своїми фізико-механічними властивостями добавка, імовірно вторинного ПТФЕ, з низькою «адгезійною активністю» зменшує кількість матричного матеріалу та збільшує кількість наповнювача порушуючи пропорцію 80% ПТФЕ та 20% коксу регламентовано ТУ.

Необхідно також враховувати низьку адгезію ПТФЕ первинного до різного роду наповнювачів – введення 1% наповнювача знижує міцність матеріалу при розриві на 1-1.5%.

Для недопущення виходу з ладу компресорного обладнання та браку під час виробництва заготовок з ПК матеріалів з матрицею ПТФЕ надалі, нами запропоновано рекомендації щодо проведення вхідного контролю на підприємстві виробника заготовок з матрицею ПТФЕ вихідної сировини (порошка ПТФЭ).

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Загальні теоретичні відомості

Прогрес у галузі енергетичного машинобудування призводить до ускладнення умов роботи вузлів тертя та вимагає застосування антифрикційних матеріалів з високою міцністю та зносостійкістю.

Вузли тертя насосів, торцеві ущільнення та підшипники визначають їхню працездатність, а підвищення довговічності є актуальним завданням насособудування.

Перспективними матеріалами для застосування у вузлах тертя енергетичних машин є композити на основі ПТФЕ та різних наповнювачів.

Особливістю отримання виробів з композиційних матеріалів на основі ПТФЕ є необхідність в остаточній механічній обробці заготовок, при цьому втрата відходів у вигляді стружки і неліквідів становить до 50% маси вихідної заготовки. Це призводить до значних матеріальних втрат і появи екологічної проблеми, пов'язаної з наявністю великої кількості відходів, що не утилізуються, і необхідністю їх утилізації або вторинної переробки.

Оскільки потреба у полімерних композитах постійно зростає, регенерація та використання вторинних фторполімерних відходів є актуальною та важливою з господарської, екологічної та економічної точки зору [18].

З іншого боку, використання вторинних матеріалів повинно мати наукове обґрунтування і не призводити до погіршення фізико-механічних властивостей деталей.

Підставою для наших досліджень стало замовлення підприємства на визначення причини виходу з ладу поршневого компресора з причини руйнування кільця поршня, виготовленого з ПКМ з матрицею ПТФЕ, в ході досліджень було виявлено наявність добавки вторинного політетрафторетилену.

Актуальність теми. Обґрунтований науковий підхід у використанні вторинних композитних полімерних відходів є актуальним і важливим завданням з господарської, екологічної та економічної точки зору в умовах зростаючої потреби в ПКМ.

Мета роботи – метою роботи є визначення причин зниження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу з добавкою вторинного політетрафторетилену.

Завдання дослідження. Для досягнення основної мети роботи були поставлені та вирішені такі завдання:

1) дослідити - фізико-механічні та триботехнічні властивості зразків полімерного композитного матеріалу, структуру матеріалу.

2) встановити причину зниження фізико-механічних та триботехнічних властивостей полімерного композитного матеріалу;

3) розробити рекомендації для виробництва з метою зменшення браку та поліпшення якості продукції, що випускається.

- майбутнє застосування результатів НДР в народному господарстві з виділенням ефекту у виробника, і у споживача має місце результати дослідження впливу зміни складу матеріалів, на його фізико-механічні властивості, що дозволяє розробляти і виробляти матеріали із заданими властивостями.

- тип НДР відповідно до класифікації відповідає пошуковим дослідженням. Пошукові – це дослідження, спрямовані на аналіз і розвиток фундаментальних досліджень для встановлення можливості і необхідності їх практичного застосування в певних областях техніки і технології. Результатом пошукових досліджень повинні бути рекомендації по створенню нових продуктів і нових технологічних процесів.

- взаємозв'язок даної НДР з попередніми роботами подібного спрямування – немає.

4.2 Методика розрахунку витрат

1. Склад витрат на проведення НДР.

Витрати на проведення дослідних і експериментальних робіт є підготовчими і складаються з наступних складових: витрати на постановку задачі дослідження (літературний огляд, вивчення патентів тощо);

- витрати на лабораторні дослідження;
- витрати на дослідне виробництво (проекування і спорудження дослідної установки), отримання і випробування дослідної партії продукту, вивчення відходів виробництва і техніко-економічна оцінка процесу;
- витрати на промислове проектування.

2. Матеріальні витрати.

Вартість витрачених в процесі дослідження основних і допоміжних матеріалів та реактивів розраховується, виходячи з їх фактичної витрати та цін за формулою [19]:

$$V_m = V \cdot C, \text{ грн} \quad (4.1)$$

де, V – витрата даного виду матеріальних ресурсів, одиниць вимірювання;

C – ціна за одиницю вимірювання даного виду матеріальних ресурсів, грн.

Розрахунок представлений в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Вартість матеріалів

Найменування матеріалу	Одиниця вимірювання	Ціна, грн. За одиницю виміру	Фактична кількість	Сума, грн.
Дистильована вода	л	2,60	1	2,60
Фільтрувальний папір	уп	28,00	1	28,00
Разом				30,60

Вартість палива та електроенергії, витрачених в процесі дослідження, розраховується аналогічно витратам на матеріали. Витрати на електроенергію

визначаються, виходячи з потужності обладнання, часу його роботи і ціни 1 кВт·год, за формулою [19]:

$$Ve = M \cdot n \cdot T \cdot Ц, \text{ грн.} \quad (4.2)$$

де, M – потужність обладнання або електроприладу (за паспортом), кВт;

n – кількість застосованого обладнання, шт.;

T – час роботи обладнання, год.;

$Ц$ – ціна 1 кВт·год електроенергії, грн.

Розрахунок представлений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Вартість електроенергії

Найменування матеріалу	Потужність, кВт	Час роботи обладнання, год.	Ціна 1 кВт·год електроенергії, грн.	Сума, грн.
розривна машина	1,9	5	1,68	15,96
випробувальна установка	4,5	1	1,68	7,56
Разом				23,52

3. Оплата праці.

Витрати на заробітну плату складаються з заробітної плати виконавця, керівника, залучених осіб (лаборанта та терміста).

Витрати на заробітну плату виконавця (Зв) роботи визначаються множенням розміру місячної стипендії на число місяців, що були витрачені на виконання науково-дослідної практики та кваліфікаційної магістерської роботи [19].

Для керівника і консультантів, а також науково-технічного персоналу (інженери, лаборанти) – виходячи з посадових окладів з усіма надбавками і нормативів часу.

Заробітна плата керівника роботи (Зкер) визначена, виходячи зі ставок погодинної оплати праці науково-педагогічного персоналу за проведення навчальних занять і норми витрат його робочого часу на одну випускную роботу студента рівня підготовки «магістр» для денної форми навчання (12 год/чол.).

Заробітна плата залучених осіб (терміста і лаборанта) визначається, виходячи з розміру мінімальної заробітної плати у погодинному вираженні і витрат їх робочого часу при проведенні досліджень [19].

Таблиця 4.3

Витрати на заробітну плату

Посада	Ставка погодинної оплати праці, грн.	Відпрацьований час, год.	Сума, грн.
Доцент	864,32	12	172,86
Разом			172,86

4. Інші витрати

Інші витрати визначаються в розмірі 25% від суми прямих витрат.

До них відносяться загальноуніверситетські витрати на амортизацію і ремонт будівель та обладнання, опалення, освітлення, воду, витрати на утримання навчальнодопоміжного та адміністративно-управлінського персоналу, закупівлю канцелярського приладдя тощо.

Витрати на спеціальне обладнання, придбане для даної НДР, послуги сторонніх організацій (проведення аналізів і випробувань, комп'ютерне моделювання тощо), витрати на відрядження враховуються на фактичному рівні.

Кошторис витрат на науково-дослідницьку розробку

Найменування статті витрат	Сума, грн.	Частка даної статті у загальній сумі витрат, %
Вартість матеріалів	30,60	14
Вартість електроенергії	23,52	10
Витрати на заробітну плату	172,86	76
Разом	226,98	

Висновок до розділу 4

Підсумковий кошторис витрат на НДР являє собою суму результатів розрахунків суми витрат по всіх статтях витрат за період її виконання та становить близько 227 гривень.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Техніка безпеки при роботі з полістиролом

При виробництві й зберіганні плит можливе виділення легких речовин - незаполімеризованих домішок, які містяться у вихідній сировині – в полістиролі, що спінюється (ізопентану, пентану і залишкового мономеру — стиrolу). Полістирол, що спінюється, схильний до утворення електростатичних зарядів при недостатньому повітрообміні, що може бути джерелом небезпеки, бо пил, який міститься в повітрі, створює вибухонебезпечну суміш. Гранично допустимі концентрації (ГДК) парів легких речовин, пилу полістиролу в повітрі робочої зони виробничих приміщень, а також клас їх небезпеки у відповідності з ГОСТ 12.1.005 і ГОСТ 12.1.007 наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Найменування речовин	ГДК	Клас небезпеки
Стирол (мономер), мг/м ³	30/10	3
Ізопентан, мг/м ³	300	4
Пентан, мг/м ³	300	4
Пил полістиролу, г/м ³	27,5	3

Концентрацію шкідливих речовин в повітрі робочої зони слід визначати у відповідності з вимогами ГОСТ 12.1.005 і ГОСТ 12.1.014. Плити повинні виготовлятися при дотриманні температурного режиму і технологічних параметрів у приміщеннях, обладнаних припливно-витяжною вентиляцією згідно з ГОСТ 12.4.021 і СНиП 2.04.05.

При виробництві плит необхідно дотримуватись вимог санітарних правил організації технологічних процесів і вимог гігієни до виробничого

устаткування згідно з ГОСТ 12.3.002. Експлуатація електроустановок і електроприладів повинна здійснюватись згідно з ГОСТ 12.1.019.

Устаткування, комунікації і ємкості повинні бути заземлені від статичної електрики згідно з ГОСТ 12.1.018 і ПУЭ-76. Плити з пінополістиролу згідно з вимогами ГОСТ 12.1.044 належать до групи горючих матеріалів середньої займистості.

Плити типу ПСБ-С здатні до самостійного горіння не більше 4 с.

Температура займання плит - $(74 \pm 10)^\circ\text{C}$.

При займанні плит їх гасять розпиленою водою зі змочувачами. Гасіння пожежі в приміщеннях проводять в ізолюючих протигазах. За пожежною безпекою виробничі приміщення повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.3.030.

Викиди в атмосферу, охорона навколишнього середовища повинні відповідати вимогам ГОСТ 17.2.3.02, Сан ПИН 4630-88 і Сан ПИН 4946-89.

Оцінка радіологічної активності сировини і плит, а також методи радіаційного контролю проводяться за РСН 356-91 "Положення про радіаційний контроль на об'єктах будівництва та підприємствах будіндустрії та будматеріалів України" [20].

5.2 Заходи проти отруєння

Кодексом законів про працю передбачається видача робітникам, робота яких пов'язана з небезпекою професійного отруєння, жирів, або нейтралізують коштів в якості протиотрути. В окремих, де проводиться робота з отруйними речовинами, забороняється приймати їжу і палити. Необхідно наявність аптечки першої допомоги. Робота в умовах забрудненого середовища проводиться у відповідних міських, респіраторних, окулярах [21].

Отже, у відділеннях, відведених для робіт із шкідливими виділеннями (відділення цементної, ціанування, оксидування та ін.), Перед початком роботи обов'язково включення припливно-витяжної вентиляції. Перед

прийняттям їжі слід ретельно вмити руки і вичистити зуби. Не можна допускати миття рук у воді гартівних баків [23].

5.3 Правила зберігання отруйних речовин

Слід пам'ятати, що зберігання отруйних і легкозаймистих речовин на головному складі та в цехових приміщеннях проводиться за правила, встановленим відповідними інструкціями, так само як і їх відпуск і транспортування. Дотримання інструкцій є строго обов'язковим. Селітру дозволяється зберігати тільки в металевій тарі.

Для зберігання кислот краща металева тара з кислототривкої футеровкою. Кислоти також не допускаються роботи, пов'язані з утворенням іскор. Ціаністі солі, упаковані в жерстяні або залізні банки або барабани, зберігаються на особливому складі, ізольованому від загального складу, з вентиляцією, що включається поза складу [21].

Отже, на тарі повинен бути напис « ОТРУТА ». До роботи з ціаністими солями допускаються спеціально виділені особи. У приміщеннях складів куріння суворо заборонено. Обов'язковим є бездоганна чистота і порядок, відсутність захаращеності, наявність вентиляції, проходів шириною не менше 1 м в складі та 5 м зовні [22].

Горючі речовини зберігаються в забарвлених бочках з написами про вміст. Тара повинна бути ретельно промитої. Між рядами бочок слід залишати достатні проходи. Для зберігання масел відводяться окремі комори, зберігання в яких бензину, газу та інших горючих матеріалів забороняється.

5.4 Протипожежні заходи

Отже, згідно ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять», протипожежні заходи в термічних цехах зводяться в основному до профілактичних заходів:

– регулярної очищення трубопроводів від сажі, підтримування в справності газопроводів і газорегуляторів, підтримці в справності

маслоохладительной системи, особливо відведення циркулюючого гартувального масла, щоб уникнути його переливу через борти боки і розтікання по підлозі цеху [21];

– у цехах повинен знаходитися пожежний інструмент, пінні вогнегасники, кошма або листовий азбест для накриття гартувального бака з палаючим маслом, сухий пісок в разі пожежі в термічному цеху, особливо з утворенням вогнища загоряння, пов'язаного з надходженням (подачею) палива – нафти або газу, слід негайно перекрити кран біля печі і загальний кран на магістралі, не можна допускати установки баків з мазутом в приміщенні, де розташовані печі [22].

Таким чином, при загорянні мазуту ефективним для гасіння засобом виявляється пінний вогнегасник, пісок, розпорошена вода, застосування якої базується переважно на освіту водяної пари, при 30% якого в повітрі горіння не підтримується. Проходи і проїзди в цеху повинні бути вільними, доступними для дій при гасінні вогнищ загоряння [20].

Лабораторія знаходиться в будівлі, що відноситься до першого ступеня пожежної безпеки. Лабораторія будована з вогнетривкого будівельного матеріалу згідно вимогам.

За ступенем пожежної безпеки приміщення лабораторії відносяться до категорії В, оскільки в лабораторії знаходяться і використовуються горючі та важкогорючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини та матеріали, але при цьому приміщення не належать до категорій А і Б. Клас по вибухонебезпеці відсутній [23].

Отже, виникнення пожежі в лабораторії може бути викликано коротким замиканням електропроводки або перевантаженням електропроводів. Пожежі, які можуть виникати в лабораторіях з пічним обладнанням, представляють велику небезпеку, так як температура технологічних процесів становить 1000°C і більше [21].

Таким чином, при таких температурах відбувається миттєве займання багатьох органічних матеріалів. В таких лабораторіях для гасіння пожеж використовуються вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-2.

В кожній лабораторії для локалізації наслідків короткого замикання встановлені спеціальні вимикачі і плавкі запобіжники [20].

На випадок пожежі в лабораторії розроблений план евакуації. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії (теплові або димові повідомлювачі), а також встановлений ящик з піском [23].

Отже, основними заходами по пожежній безпеці є регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації; перевірка виправності електричної проводки; обережне відношення з легкоплавкими речовинами. Виконувати роботи необхідно лише на робочому місці [21].

5.5 Заходи з охорони довкілля

Отже, найбільшу шкоду атмосферному повітрю можуть нанести пари металу в процесі плавки та металічний пил, який утворюється при шліфуванні зразків, пари ацетону і плавикової кислоти при знежирюванні та травленні зразків, згідно ДСТУ 3831-1998 «Охорона навколишнього природного середовища». В нашому випадку приготування металографічних шліфів та наступне їх знежирення та травлення відбувалося декілька разів, процес був короткочасним та відбувався в іншій лабораторії [20].

Таким чином для запобігання надходження шкідливих речовин в атмосферу система вентиляції всієї будівлі, до складу якої входить ця та інші лабораторії, комплектуються пиловловлювачем та абсорбером [21].

Всі стічні води спускаються в міську каналізаційну систему. Зливання в каналізаційну мережу відпрацьованих розчинів хімічних речовин допускається лише після їх нейтралізації та очищення [21].

На дільницях шліфування, полірування та при застосуванні мокрих засобів обробки пилових матеріалів, стічні води повинні надходити до системи загальної каналізації через відстійники.

Висновки до розділу 5

Система управління охороною праці є однією з найважливіших складових частин загальної системи управління виробництвом. Її головним завданням є створення безпечних і здорових умов праці.

Проведений аналіз потенційної небезпеки і шкідливих факторів на виробництві. Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень та технологічних матеріалів застосовуваних для утворення багатокомпонентних функціональних матеріалів.

Прописані вимоги до розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва. Наведені вимоги, що висуваються до кваліфікаційної освіченості персоналу і до застосування засобів захисту для працівників.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведення дослідження зразків наданих замовником було визначено:

У розділі 1 розглянуті питання використання вторинного ПТФЕ та інших матеріалів як матриці та наповнювача для ПКМ, особливості технології подрібнення вторинного ПТФЕ, зміна фізико-механічних властивостей матеріалу при додаванні вторинної сировини.

У розділі 2 представлені дані щодо фізико-механічних властивостей фторопласту-4 (матеріал матриці ПКМ) та наповнювача — коксу. Визначено методи випробувань для перевірки відповідності властивостей матеріалу наданого замовником із властивостями регламентованими ТУ. Для вивчення структури матеріалу запропоновано метод мікроскопічного аналізу.

У розділі 3 представлені результати досліджень фізико-механічних властивостей матеріалу.

Міцність при розтягуванні σ_{pp} (середнє) 6.7 МПа зразків у вигляді кілець виготовлених із втулки, наданої замовником, менше заявлених у ТУ 6-05-1413-76 (Ф4К20, σ_{pp} (12-15 МПа)).

Відносне подовження при розриві δ (середнє) 29%, що нижче ніж регламентовано ТУ 6-05-1413-76 (60-120%), що корелюється з низькою міцністю при розтягуванні.

Щільність матеріалу ρ -1920 кг/м³, що нижче за регламентовану ТУ ρ -2050 кг/м³. Результати триботехнічних випробувань показують збільшення інтенсивності зношування зразків $3,2 \cdot 10^{-7}$, мм³/Н·м порівняно з $1 \cdot 10^{-7}$, мм³/Н·м регламентованого ТУ.

Результати мікроскопічних досліджень показали наявність частинок полімеру, найімовірніше – вторинного ПТФЕ, як у матеріалі зруйнованого кільця, так і в матеріалі з якого були виготовлені зразки для проведення фізико-механічних випробувань, не характерні для структури матеріалу Ф4К20.

Виявлені частинки мають характерний жовтий колір (у зруйнованому кільці), що може свідчити про окислення матеріалу під впливом високих температур, що виникли в процесі тертя. У матеріалі заготовок частинки мають білий колір і розмір 200-300 мкм, що значно перевищує розміри як матеріалу матриці, так і наповнювача регламентованих ТУ.

Зниження фізико-механічних властивостей матеріалу, на нашу думку, пов'язане з розмірами часток нехарактерних структурі Ф4К20 та їх низькою адгезією з матрицею фторопласту-4. Як зазначають літературні джерела, оптимальний розмір часток для формування ПКМ з матрицею ПТФЕ повинен становити не більше 200 мкм. Частинки з розміром 200-300 мкм з низькою "адгезійною активністю" поверхні не пов'язані силами адгезії з матеріалом матриці ПТФЕ і структурно, отже, "працюють" як тріщина в матеріалі.

На зниження міцності впливає ще й той факт, що за своїми фізико-механічними властивостями добавка, імовірно вторинного ПТФЕ, з низькою «адгезійною активністю» зменшує кількість матричного матеріалу та збільшує кількість наповнювача порушуючи пропорцію 80% ПТФЕ та 20% коксу регламентовано ТУ.

Необхідно також враховувати низьку адгезію ПТФЕ первинного до різного роду наповнювачів – введення 1% наповнювача знижує міцність матеріалу при розриві на 1-1.5%.

Для недопущення виходу з ладу компресорного обладнання та браку під час виробництва заготовок з ПК матеріалів з матрицею ПТФЕ надалі, нами запропоновано рекомендації щодо проведення вхідного контролю на підприємстві виробника заготовок з матрицею ПТФЕ вихідної сировини (порошка ПТФЭ).

У розділі 4 представлений підсумковий кошторис витрат на НДР являє собою суму результатів розрахунків суми витрат по всіх статтях витрат за період її виконання та становить 227 грн.

У розділі 5 проведений аналіз потенційної небезпеки і шкідливих факторів на виробництві. Представлені вимоги до технологічних процесів, виробничих приміщень та технологічних матеріалів застосовуваних для утворення багатокомпонентних функціональних матеріалів.

Прописані вимоги до розміщення виробничого обладнання, зберігання і транспортування вихідних матеріалів, оброблюваних виробів і відходів виробництва. Наведені вимоги, що висуваються до кваліфікаційної освіченості персоналу і до застосування засобів захисту для працівників.

Розроблені рекомендації:

1. Контроль якості вихідної сировини проводиться для кожної одиниці тари (мішок, ємність тощо) незалежно від його обсягу та ваги.
2. Відбір проби проводиться шляхом хаотичного відбору (проба 100г).
3. Виготовлення втулки для подальших фізико-механічних випробувань матеріалу. (Метод виготовлення - пресування та спікання).
4. Виготовлення експериментальних зразків для проведення випробувань на міцність при розтягуванні та мікроскопічного аналізу.
5. Проведення випробувань та вивчення мікроструктури.
6. Порівняння результатів випробувань із заявленими у сертифікаті якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рябцев, Г. Л. Полімерні пакувальні матеріали (стан та шляхи вдосконалення) / Г. Л. Рябцев, І. О. Мікульонок // Упаковка. — 2006. — № 1. — С. 42—47.
2. Світовий та європейський ринок пластмас // *Plastics Review (Ukraine Edition)*. — 2005. — С. 4—8.
3. Про відходи: Закон України від 05.03.1998, № 187/98 ВР // *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. — К. : Верховна Рада України. — 1998. — № 36—37. — Ст. 242. — (Зі змінами, внесеними згідно із Законами України від 07.03.2002, № 3073-III // ВВР. — 2002. — № 31. — Ст. 214 і від 23.12.2004, № 2290-IV // ВВР. — 2005. — № 6. — Ст. 140).
4. Програма поводження з твердими побутовими відходами : затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 04.03.2004 р., № 265 // *Урядовий кур'єр*. — 2004. — 24 берез. (№ 55). — С. 8—9.
5. Рябцев, Г. Л. Ринок полімерів: чому не виправдовуються прогнози / Г. Л. Рябцев, С. В. Сапегін, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок // Упаковка. — 2007. — № 1. — С. 8—10.
6. Запропоновано нові пріоритети управління відходами // *Євробоюлетень : інформ. видання Представництва Європ. комісії в Україні*. — 2008. — № 11. — С. 21.
7. Пахаренко, В. А. Переробка полімерних композиційних матеріалів : учеб. пособие [для вузов] / В. А. Пахаренко, Р. А. Яковлева, А. В. Пахаренко. — К. : Воля, 2006. — 552 с. 241.
8. Суберляк, О. В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. — Львів : Растр-7, 2007. — 376 с.

9. Мікульонок, І. О. Переробка вторинної сировини екструзією : монографія / І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко. — К. : ІВЦ «Видавництво „Політехніка”», 2006. — 184 с.
10. Мікульонок, І. О. Основні методи і шляхи використання полімервмісних відходів / І. О. Мікульонок, Г. Л. Рябцев // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2001. — № 2. — С. 135—147.
11. Сировина полімерна вторинна. Порядок збирання, зберігання і перероблення відходів : ДСТУ 2731–94. — [Чинний від 1995-07-01]. — К. : Держстандарт України, 1994. — 13 с. — (Національний стандарт України).
12. Мікульонок, І. О. Полімерні композитні матеріали й вироби з них. Одержання, перероблення та властивості : термінол. слов. / І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко. — К. : ІВЦ «Видавництво „Політехніка”», 2005. — 179 с.
13. Fiber-reinforced plastic market to cross 2.6 billion by 2007 // Polym. News. — 2002. — Vol. 27, N 11. — P. 388—389.
14. Мікульонок, І. О. Термопластичні композитні матеріали та їх наповнювачі. Класифікація та загальні відомості / І. О. Мікульонок // Хімічна промисловість України. — 2005. — № 5. — С. 30—39.
15. Мікульонок І. О. Обладнання для механічного руйнування полімер-та еластомервмісних відходів / І. О. Мікульонок // Вісник КНУТД. Напрямок «Хімія та хімічні технології». — 2003. — № 1. — С. 131—134.
16. Effect of CaCO₃/LiCO₃ on the HCl generation of PVC during combustion / S. Zhu, Y. Zhang, Y. Zhang, C. Zhang // Polym. Test. — 2003. — Vol. 22, N 5. — P. 539—543.
17. Thermoplastic polymers reinforced with fibrous agricultural residues / S. Th. Georgopoulos, P. A. Tarantili, E. Avgerinos [et al.] // Polym. Degrad. and Stab. — 2005. — Vol. 90, N 2. — P. 303—312.
18. Забашта, В. Ф. Полімерні композиційні матеріали конструкційного призначення / В. Ф. Забашта, Г. О. Кривов, В. Г. Бондар. — К. : Техніка, 1993. — 160 с.

19. Гальчинський, А.С. та інші Основи економічних знань: Навчальний посібник. // – К.: Вища школа, 1999. – 544 с.
20. ДСН 3.3.6.042-2013. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
21. ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять».
22. ДСТУ 3042-2005 «Устаткування технологічне для переробки полімерних матеріалів».
23. ДСТУ 3831-98 «Охорона навколишнього природного середовища».